

岡部 聡

国立大学法人北海道大学大学院工学研究院・教授

水循環の基盤となる革新的水処理システムの創出

## § 1. 研究実施体制

### (1) 北海道大学「水の安全性評価」グループ

①研究分担グループ長: 岡部 聡 (北海道大学大学院工学研究院、教授) (研究代表者)

②研究項目

- ・病原微生物・微量化学物質のモニタリングと健康リスク評価手法の開発

### (2) 北海道大学「膜処理」グループ

①研究分担グループ長: 木村 克輝 (北海道大学大学院工学研究院、准教授)

(主たる共同研究者)

②研究項目

- ・膜分離技術を核とした先端的水処理システムの開発

### (3) 「大阪市水道局」グループ

①研究分担グループ長: 河谷 幸生 (大阪市水道局、工務部長) (主たる共同研究者)

②研究項目

- ・高速生物ろ過＋凝集＋MF 膜ろ過(セラミック膜及び PTFE 膜)システムの開発

### (4) 「阪神水道企業団」グループ

①研究分担グループ長: 小林 健一 (阪神水道企業団、技術部長) (主たる共同研究者)

②研究項目

- ・高速生物ろ過＋凝集＋MF 膜ろ過(セラミック膜及び PTFE 膜)システムの開発

### (5) 「メタウォーター(株)」グループ

①研究分担グループ長: 大和 信大 (メタウォーター(株)、研究員) (主たる共同研究者)

②研究項目

- ・低ファウリングセラミック膜の開発

## § 2. 研究実施内容

### I. 膜分離技術を核とした先端的水処理システムの開発(要素研究-1)

膜分離技術を核とした先端的水処理システムに関する研究では、まず膜モジュール直下からの気泡の直接吹き込み及び気泡の流出を防ぐガイド板の取り付けによって、導入した気泡全てが膜近傍を通過できるように改造した局所曝気装置を新規に開発した。札幌市創成川水再生プラザ内に設置したパイロットスケール MBR に新規開発した局所曝気装置を装着して連続運転を行った結果、局所曝気装置を用いた場合には曝気風量を有意に減少させることが可能であることが示された。また、単位処理流量あたりの曝気風量(比曝気風量)について検討したところ、局所曝気装置を用いる場合には、低フラックス運転時において大幅な比曝気風量の削減が可能であることが示唆された。また、22年度の研究により浸漬型 MBR へ担体を投入することで膜ファウリングを効率的に制御可能であることが示唆されたことから、同一条件で運転する 2 台のベンチスケール MBR の一方に担体を投入し、担体の投入に伴う MBR の運転効率の改善を検討した。担体を浸漬型 MBR へ投入することにより、膜間差圧の上昇が大きく抑制されることが確認された。1ヶ月間の連続運転の間、担体を投入した MBR では膜間差圧がほとんど上昇せず、膜の物理洗浄を一度も行わずに運転の継続が可能であった。これは主に可逆的膜ファウリング(膜面付着ケーキ)の抑制によるものであり、不可逆的な膜ファウリングの進行については担体を投入することで逆に促進される可能性があることが示された。

槽外クロスフロー型 MBR に用いられるモノリス型セラミック膜に着目した研究では、新しく作成したセラミック膜を省スペース型硝化脱窒同時反応槽と組み合わせた槽外型 MBR に装着し、実下水を用いて連続運転し、その運転性(ファウリングの進行度など)を評価した。現行膜と透水性能を向上させた試作膜 A(孔径は同等)を用いて連続運転を行った結果、試作膜 Aの方が膜ファウリングの進行速度が遅く、現行膜よりも低ファウリング性の膜である可能性が確認された。

膜ろ過による浄水処理技術の革新に関する研究では、上流域で繰り返し利水された河川である淀川表流水に対し、活性炭吸着と生物処理に膜ろ過を組み合わせた「ハイブリッド膜ろ過システム」を用いて、高い水処理性と運転・維持管理性を備えた次世代型の浄水処理システムについて検討した。現行の高度浄水処理システムに比べて薬品使用量を低減した条件における浸漬型の水処理性に関しては、DOC の期間平均が原水 1.9mg/L に対して膜処理水 1.1mg/L であり、オゾンおよび活性炭を用いた高度処理水(0.7mg/L)より高い値であった。アンモニア態窒素については、水温低下に伴う処理性の低下が見られた。DOC の処理性、低水温期のアンモニア態窒素の処理性が課題であると考えられる。

次に、課題解決を図るため、BRF(Biological Roughing Filter:生物高速ろ過)を前処理として用いた水処理実験を行なった。その結果、DOC 処理性向上の効果は低かったものの、アンモニア態窒素の処理性については一定の効果があると考えられた。ケーシング型についての定常運転時における生物処理性については、10℃未満においては生物処理機能の低下に伴う処理性低下が見られた。

## II.水の新規安全性評価・管理手法の開発（要素研究-2）

微量有害化学物質のモニタリングに関する研究では、直接飲用を目的とした都市下水の再利用を念頭に置き、実下水の膜処理水及び活性汚泥処理水について、従来の水質分析、バイオアッセイおよび DNA マイクロアレイ技術を用いたトキシコゲノミクスにより水質評価を試みた。各処理水について、従来の水質分析では顕著な違いが見られなかったが、ヒト細胞を用いたバイオアッセイでは、一部の処理水において、わずかであるが細胞毒性を示した。この細胞毒性を確認するため、固相抽出により濃縮した試料を用いた結果、処理水により細胞毒性が異なり、濃縮していない試料と同様の傾向を示した。DNA マイクロアレイを用いた解析では、試料を濃縮せずとも、各処理水がヒト細胞のどの機能の遺伝子応答に影響を与えることが明らかとなった。また再利用を念頭に置いた場合、塩素処理は必要不可欠であると考えられるため、塩素消毒による処理水の毒性への影響をバイオアッセイにより評価した。その結果、細胞毒性は注入塩素濃度の増加に伴って変化した。しかし、遺伝毒性は変化しなかった。

病原微生物リスク評価に関する研究では、ヒト、ウシ、ブタ、カモ及びニワトリに特異的な宿主特異的 16S rRNA 遺伝子マーカーを環境試料に適用することを想定し、核酸の抽出方法を検討した。また環境水試料の濃縮効率、核酸の抽出効率、及び定量的 PCR による検出効率などを評価するために、大腸菌の遺伝子組換え株を用いた内部標準（プロセスコントロール）法を確立した。

胃腸炎ウイルス粒子安定性評価に関する研究については、アビジン固定化ゲルを用いたカラム方式による酸化損傷ウイルス粒子回収手法を採用し、ヒトノロウイルスの代替ウイルスであるマウスノロウイルスに適用した。その結果、約1.6 logの感染価低下は見られるが遺伝子量の低下が見られない低塩素負荷条件において、マウスウイルス粒子上の酸化損傷を定量的に検出可能であることが示された。

ノロウイルス吸着性細菌に関する研究については、22年度に得られたノロウイルス吸着性腸内細菌 (*Enterobacter* sp. SENG-6) が、細胞外物質中にノロウイルス吸着サイトを有することが免疫 TEM により示され、その細胞外物質とノロウイルス間の相互作用は特異的な吸着現象であることが QCM 法により確認された。

ナノマテリアルを用いた重金属センサーに関する研究については、市販の原料より BODIPY 母骨格の共通原料となる化合物を合成した。共通原料を合成した後、2 種類のイオン認識部位を用いて、同様のカップリング反応にて色素 **1** および **2** を合成した。色素 **1** は 592 nm に極大を示す蛍光を示した。500 当量の  $\text{Cr}^{3+}$  を加えると蛍光極大波長は 566 nm と短波長側へ移動し、蛍光強度が増大した。このことから、色素 **1** は  $\text{Cr}^{3+}$  応答を持つ蛍光色素として利用可能といえる。色素 **1** による  $\text{Cr}^{3+}$  分析への妨害イオンの影響を調べるため、12 種のイオン ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Hg}^{2+}$ , 及び  $\text{Pb}^{2+}$ ) に対する色素 **1** の応答を測定した。 $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Hg}^{2+}$ , 及び  $\text{Pb}^{2+}$  に対するスペクトル変化(波長および強度変化)は  $\text{Cr}^{3+}$  と類似していた。また、 $\text{Zn}^{2+}$  及び  $\text{Cd}^{2+}$  に対してより大きな波長変化を示した。これらのイオンに同濃度となるように  $\text{Cr}^{3+}$  を加えたところ、色素 **1**- $\text{Cr}^{3+}$  のみの系とほぼ同じスペクトルが得られ、色素 **1** は  $\text{Cr}^{3+}$  に対し高い親和性を持つことが判明した。

### § 3. 成果発表等

#### (3-1) 原著論文発表

##### ●論文詳細情報

1. Taro Miyoshi, Tomoyasu Aizawa, Katsuki Kimura and Yoshimasa Watanabe. Characteristics of proteins involved in membrane fouling in membrane bioreactors (MBRs) treating municipal wastewater: the application of metaproteomic analyses. *Desalination and Water Treatment*, 34 (1-3), 150-155, 2011 (DOI: 10.5004/dwt.2011.2894)
2. Thithiwat May, Kenji Tsuruta and Satoshi Okabe, “Exposure of conjugative plasmid carrying *Escherichia coli* biofilms to male-specific bacteriophages”, *The ISME Journal*, vol. 5, No. 4, pp.771-775, 2011 (DOI:10.1038/ismej.2010.158)
3. Thithiwat May and Satoshi Okabe, “Enterobactin is required for biofilm development in reduced-genome *Escherichia coli*”, *Environmental Microbiology*, vol. 13, No. 12, pp.3149-3162, 2011. (DOI:10.1111/j.1462-2920.2011.02607.x)
4. Mamoru Oshiki, Masaki Shimokawa, Naoki Fujii, Hisashi Satoh and Satoshi Okabe. “Physiological characteristics of the anaerobic ammonium-oxidizing bacterium ‘Candidatus Brocadia Sinica’”, *Microbiology*, vol. 157, pp.1706-1713, 2011. (DOI: 10.1099/mic.0.048595-0)
5. Yosuke Tashiro, Koji Kawata, Ayumi Taniuchi, Kenji Kakinuma, Thithiwat May and Satoshi Okabe. “RelE-mediated dormancy is enhanced at high cell density in *Escherichia coli*”, *Journal of Bacteriology*, vol. 194, No. 5, 1169-1176, 2012. (DOI: 10.1128/JB.06628-11)
6. Kazuki Tojo, Daisuke Sano, Takayuki Miura, Toyoko Nakagomi, Osamu Nakagomi and Satoshi Okabe. “Detection of oxidative damages on viral capsid protein for evaluating infectivity of gastroenteritis viruses”, *Water Science and Technology*, accepted.
7. Ayano Kobayashi, Daisuke Sano and Satoshi Okabe. “Effects of temperature and predator to the persistence of host-specific genetic markers in water”, *Water Science and Technology*, accepted.
8. Asiful Hoque, Katsuki Kimura, Taro Miyoshi, Nobuhiro Yamato and Yoshimasa Watanabe. Characteristics of foulants in air-sparged side-stream tubular membranes used in a municipal wastewater membrane bioreactor. *Separation and Purification Technology*, in press, 2012 (DOI: 10.1016/j.seppur.2012.03.027)
9. Asiful Hoque, Taro Miyoshi, Katsuki Kimura and Yoshimasa Watanabe. Performance of Membrane Bio-reactor Equipped with Air-sparged Side-stream

Tubular Membrane: Treatment Efficiency and Membrane Fouling. Separation Science and Technology, in press, 2012